

荷物持ち上げ動作時の把手の角度が腰部椎間板圧迫力に与える影響

荷物持ち上げ動作時の把手の角度が 腰部椎間板圧迫力に与える影響

Effects of hand angle on lumbar compressive force during lifting

井上 恒
INOUE Koh

The purpose of this study was to assess the effects of hand angle on lumbar compressive force during lifting. Five male subjects performed lifting in three different handle angles (0° , 45° and 90°). Ground reaction forces and motion data were recorded during lifting. Lumbar compressive forces which acted on the joint between the fourth and fifth lumbar vertebrae were calculated in the sagittal plane using a rigid-link model and inverse dynamics. The results showed that the maximum values of lumbar compressive force increased in the 90° handle angle condition during lifting. The trajectories of the box lifted was farther from the body as the hand angle increased. These results suggest that the alignment of the body at the beginning of lifting which is restricted by the hand angles of the box affects lumbar compressive force more than the trajectory of the box which is also changed by the hand angles.

1. 緒言

腰痛は日常生活や労働作業等の様々な場面で問題となっている。特に、荷物を持ち上げる動作が腰痛の悪化を引き起こすと考えられている (Frank et al., 1996)。さらに、単に荷物を運搬する時だけではなく、看護や介助の現場において被介助者を移動させるような移乗動作等においても腰痛は頻発するため、現代社会において看過できない問題となっている。多くの人が生涯一度は、突発的又は慢性的に腰痛を経験すると言われており、その原因を検討することは、腰痛の

発生や悪化を防ぐために必要不可欠である。

手作業で荷物を取り扱うような場面では、その動作が腰痛を引き起こし、悪化させる主な原因として挙げられている (de Looze et al., 2000)。これに関連して、藤浦 (1976) は、把手 (取っ手) の角度がポットで水を注ぐ上肢の動作に影響することを報告している。このことから、把手の角度は、荷物を運搬する際の動作の方向や操作性に関わる重要な要因であると考えられる。したがって、持ち上げ動作を含む荷物の操作においても、把手の角度が上肢等の動作を変化させ、腰部の負荷に影響を与えると推察される。しかし、先行研究において、把手の角度が腰部の負荷に与える影響について検討したものはみられない。荷物や箱の把手の角度は、主に製品のデザインや経験的なものによってのみ定められている可能性がある。

同様のことが介助の現場においても言える。腰痛が頻発する介助動作において、被介助者が着用する介助ベルトというものがある。このベルトは介助者の腰部への負荷を軽減することを目的にしている。介助ベルトには把手が付いており、介助者はその把手を掴むことによって安定した介助動作を行うことが可能となる。介助ベルトは一般に製品化されており、複数のメーカーが製品を作成している。しかし、この介助ベルトの把手においても、その角度は製品により異なっている。把手はベルトに対して主に平行、又は、垂直に付いているが、目的や用途による使い分けや分類等は見られない。荷物や箱と同様に、科学的な検討のもとに把手の角度が設定されているわけではないと考えられる。

以上のように、腰部への負荷を引き起こす荷物や人を持ち上げる動作において、把手の角度はその負荷の程度を変化させると考えられる。より負荷の少ない把手角度が明らかになれば、多くの腰痛の発生および悪化を減少させることが期待される。そこで、本研究では、荷物持ち上げ動作時において、腰痛の発生に物理的に作用する腰部椎間板圧迫力に対して、荷物の把手角度が与える影響について検討することとした。

2. 方法

健康な成人男性5名 (平均±標準偏差、年齢 23.2 ± 2.7 歳、身長 1.73 ± 0.04 m、体重 65.8 ± 4.8 kg) が本実験に参加した。参加者には実験前に、実験の目的、方法、安全性等を十分に説明した上で、実験参加の同意を得た。

運動課題は、足元に置かれている箱を、足を動かさずに台に乗せる荷物持ち上げ動作とした。

箱を持ち上げる台は高さ700mmで、台はフォースプレートの端から300mm離して設置し、箱はフォースプレートの端に合わせて置いた（図1）。また箱を乗せる際の目安として、台の上に箱の底と同じ大きさに印を施した。箱は木材を用いて工作し、重さは7.0kgとした。そして実際の試技ではその箱にさらに12.5kgの重りを入れ、計19.5kgの箱として使用した。また、この箱には左右側部に把手が付いており、横（0°）、斜め（45°）、縦（90°）の3通りの試技（図2）を各被験者は行った。箱を持ち上げる動作は、動作開始の合図から2秒以上3以内とした。動作時間が正確になるよう、メトロノーム（60bpm）を使用した。箱は引きずることなく、完全に台に載せることとした。本実験では、安全性への配慮から膝関節等への可動域の制限を外的に設けることはしなかったが、動作中はなるべく膝を伸ばすよう各被験者に口頭で指示をした。運動課題が一連の動作としてスムーズに行えるよう、事前に数回の練習を行った。

動作データを記録するために、マーカーを各参加者の左側の第3中手骨、手首、上腕骨外側上顆（肘）、肩峰、腸骨稜、大転子、大腿骨外側顆（膝）、外顆（足首）、踵、第5中足骨の10点に貼付した。さらに箱2点（左側面中心点と中心点から箱の底部まで垂線を下ろした点）の計12点に貼付した。8台の赤外線カメラを用いた3次元動作解析システム（MAC3D、Motion Analysis）により各マーカーの座標を動作データとして200Hzで記録した。記録した座標データは、遮断周波数6Hzの4次の Butterworth ローパスフィルターで平滑化した。動作データに同期させて、地面反力をフォースプレート（AMTI、USA）を用いて1000Hzで記録した。地面反力データは、遮断周波数100Hzの4次の Butterworth ローパスフィルターによる平滑化の後、動作データに合わせて200Hzにダウンサンプリングした。

解析は2次元的に行い、水平方向をx軸、鉛直上向きをy軸とした（図1）。身体モデルには足部、下腿部、大腿部、下胴、上胴の5つのセグメントと、それらを連結する足関節、膝関節、股関節、L4/L5（第4腰椎／第5腰椎）関節からなる剛体リンクモデルを用いた。動作データから、腸骨稜から大転子へ向かうベクトルと腸骨稜から肩峰へ向かうベクトルがなす角をL4/L5関節角度とした。さらに、動作データと地面反力データから、逆動力学解析（Winter, 2005）によって足関節、膝関節、股関節、L4/L5関節の各関節トルクを順次求めた。その後、McGill and Norman（1985）が用いた以下の式1で、L4/L5関節に働く圧迫力を腰部椎間板圧迫力として算出した。

$$F_c = M / r + F_y \cos \theta + F_x \sin \theta \quad (\text{式1})$$

ここで、 F_c は腰部椎間板圧迫力、 M はL4/L5の関節にかかる関節トルク、 r はL4/L5のモーメントアーム、 F_y と F_x は下胴からL4/L5関節を介して上胴に作用する力の鉛直成分と水平成分、 θ はx軸に対する上胴の角度である。L4/L5関節のモーメントアームである r は、McGill and

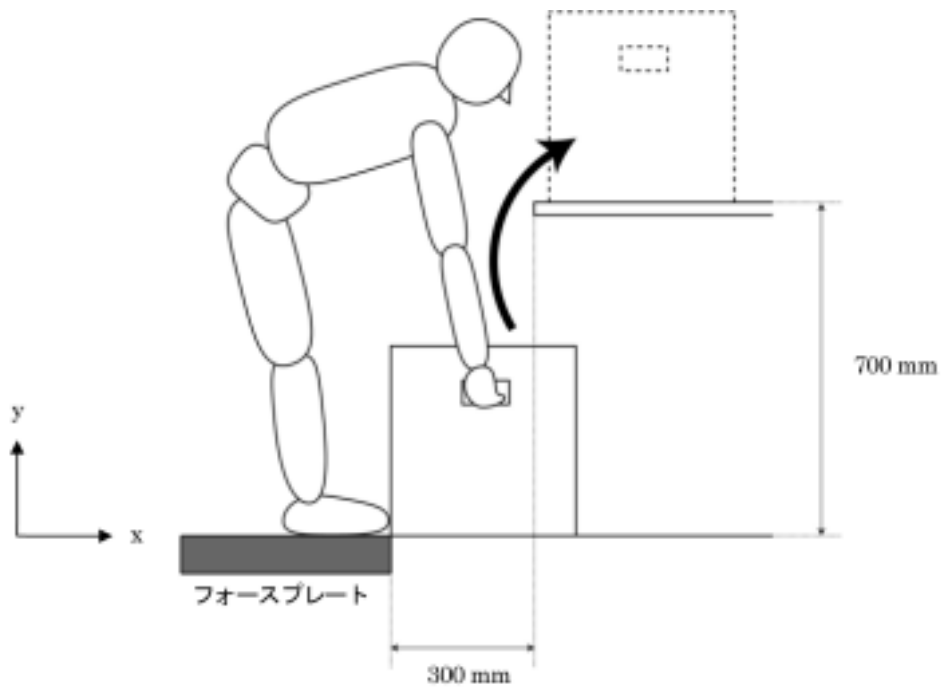


図1 実験セッティングおよび座標系設定の概要図

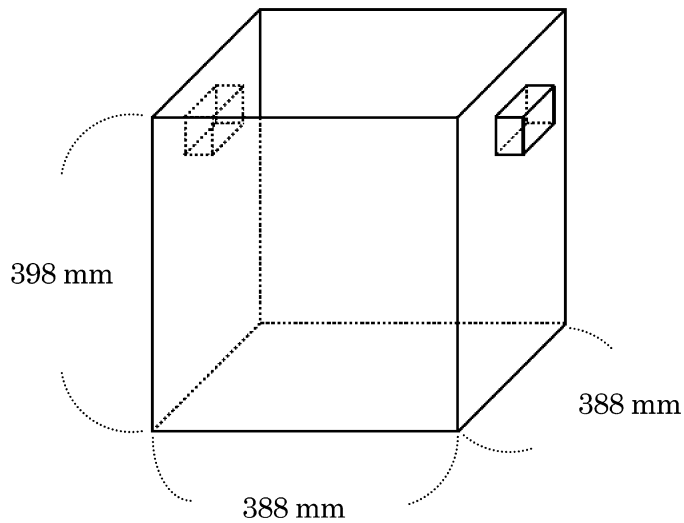


図2 荷物持ち上げ動作に用いた箱の寸法

箱は長さ×幅×高さを388×388×398mm、把手は長さ×幅×高さを36×98×50mmとした。
把手の中心は箱の底から300mmの高さとした。

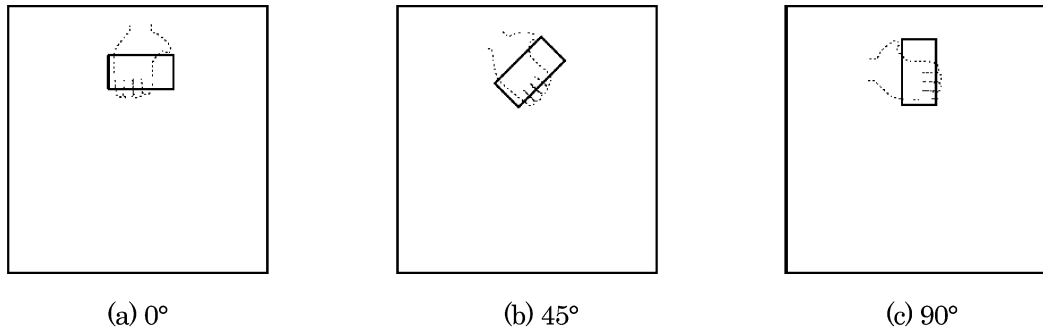


図3 把手角度の設定

Norman (1985) の研究でも用いられているように、その値を0.05mとした。荷物持ち上げ動作中の腰部椎間板圧迫力の最大値を求め、各参加者の体重で標準化した (%BW)。

統計処理として3水準の把手角度を独立変数、各試技中の腰部椎間板圧迫力の最大値 (%BW) を従属変数として、反復測定による1元配置分散分析を行った。有意水準は5%とした。

3. 結果

運動課題中の体幹角度と腰部椎間板圧迫力の典型例を図4に示した。荷物持ち上げ動作の開始と終了は箱の位置の変化によって決定した。図4の体幹角度は、腸骨稜から肩へのベクトルを xy 平面に射影したときの x 軸（水平）からの角度を示す。体幹角度は箱の垂直位置にほぼ対応するように変化した。また、腰部椎間板圧迫力は動作開始から0.4秒以内に1回目のピークを迎えて、次に動作終了直前に2回目のピークを迎える二峰性の波形を示した。2回のピークの大きさは、全ての被験者の全ての試技において、1回目のピークの方が大きな値を示した。

腰部椎間板圧迫力の最大値を図5に示した。把手角度0°の時の腰部椎間板圧迫力は $739.4 \pm 69.0\%BW$ 、45°の時は $716.0 \pm 73.8\%BW$ 、90°のときは $819.5 \pm 57.5\%BW$ であった。反復測定による1元配置分散分析を行った結果、 p 値は有意水準に満たなかった ($F(2,8) = 3.35$, $p < 0.09$)。しかし、把手角度90°と45°を比較すると、実験参加者5人全てにおいて45°の方で腰部椎間板圧迫力は減少しており、その差は $103.5 \pm 70.0\%BW$ であった。また、把手角度90°と0°を比較しても、実験参加者5人中4人において0°の方で腰部椎間板圧迫力の減少がみられ、5人の平均でも $80.1 \pm 98.8\%BW$ の差がみられた。

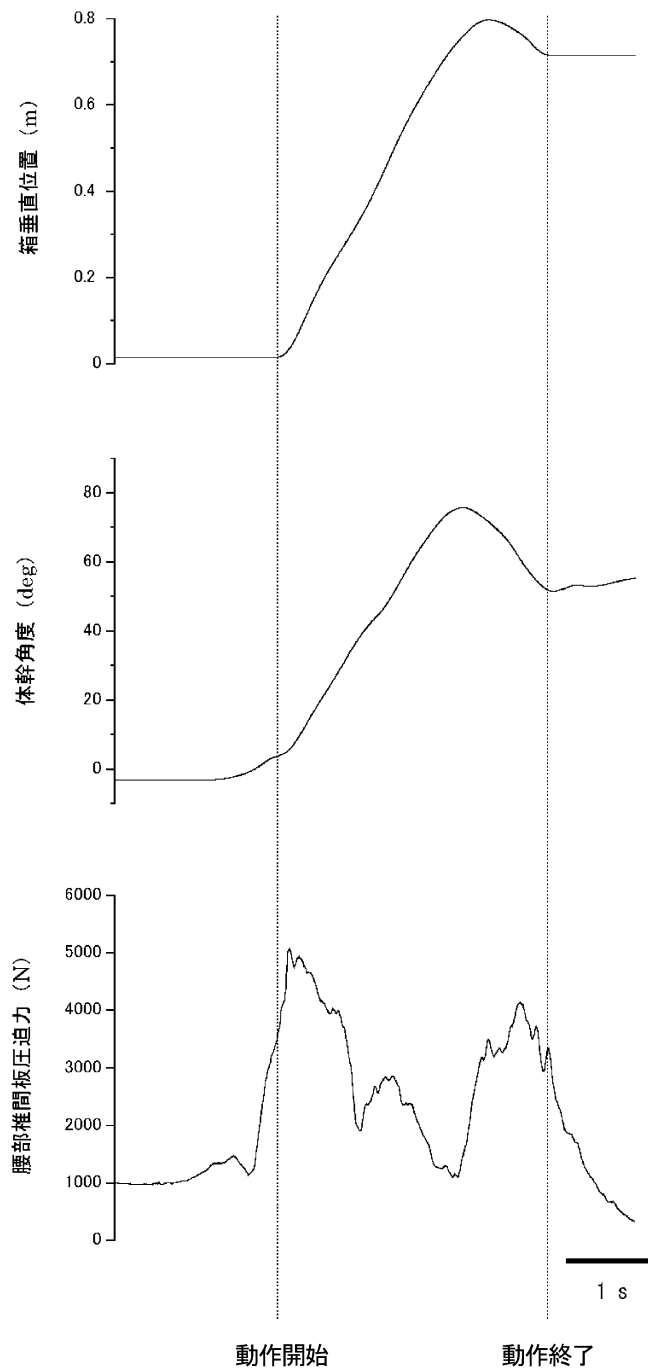


図4 荷物持ち上げ動作における体幹の角度と腰部椎間板圧迫力の典型例
体幹角度は、腸骨稜から肩へのベクトルをxy平面に射影したときのx軸からの角度を示す。

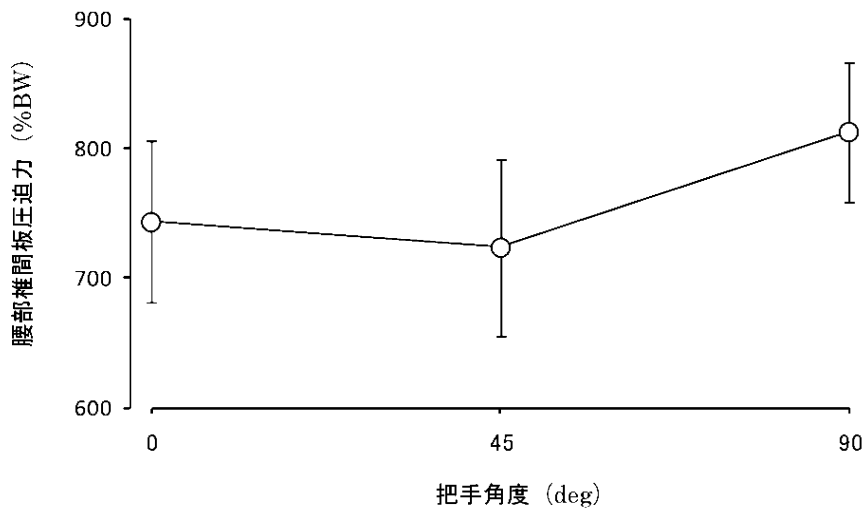


図5 把手角度の変化に伴う腰部椎間板圧迫力の最大値の変化

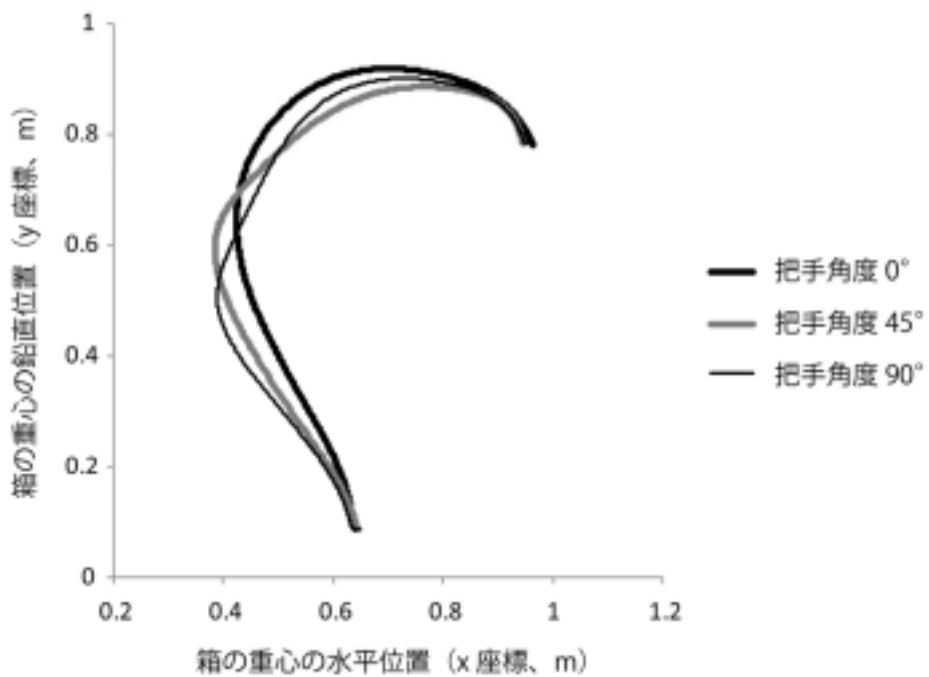


図6 箱の重心の軌跡の典型例

図6は持ち上げた箱の重心の軌跡の典型例である。持ち上げ動作が始まると、荷物は手前に引かれながら上がっていくが、把手角度が大きいほど、水平方向（手前）に引かれる距離が長いことが観察された。このような把手角度による軌跡の変化は、全ての被験者で同様の状態が観察された。

4. 考察

本研究の目的は、荷役動作時の把手の角度が腰部椎間板圧迫力に与える影響を検討することであった。本研究の結果、ほぼすべての実験参加者において、把手角度 90° （縦）のときに荷物持ち上げ動作時の腰部椎間板圧迫力が、他の把手角度に比べて増大していた。

持ち上げ動作開始直後の箱の重心の軌跡は、把手角度 0° の時に最も身体から遠い位置を通り、把手角度 90° の時に最も身体に近い位置を通った。身体から遠い位置で荷物を持つ、又は、動かし、 $L4/L5$ 関節を回転の中心とみると、箱に作用する重力のモーメントアームは長くなる。したがって、箱に作用する重力とそのモーメントアームの積でもたらさせるモーメントに抵抗するために、 $L4/L5$ 関節に大きな伸展モーメントが必要となる。その結果、腰椎椎間板圧迫力は増大すると考えられる。一方、身体から近い位置で荷物を持つ、又は、他の条件と同じように動かした場合、 $L4/L5$ 関節を回転の中心としたとき、箱に作用する重力のモーメントアームは短くなる。そのため、箱に作用する重力によって生じるモーメントに抵抗するのに必要な $L4/L5$ 関節の伸展モーメントは小さくなり、腰部椎間板圧迫力も小さくなると考えられる。しかし、本研究の結果は、このような単純な原理とは一致しなかった。

腰部椎間板圧迫力を増大させる要素の一つに、腰椎の屈曲が考えられる。本研究では、腰椎の屈曲は把手角度と関連が強い。解剖学的に手関節は大きく撓屈することはできないため、把手角度の増大に伴い、必然的に上腕の角度は水平に近づいてしまう。足と荷物の位置という作業範囲も限定されているため、作業姿勢が限定されてしまう（Balingit ら、2004）。つまり、体幹部である脊椎が屈曲しなければ、動作開始の姿勢を取ることができない。したがって、本実験では、把手角度の増大に伴い、動作開始時の $L4/L5$ 関節角度は減少し、脊椎はより屈曲していたことになる。同じ重さの物を持ち上げる時、腰椎は屈曲している方が腰部への負荷は大きい。本研究の結果で、把手角度 90° のときに、他の把手角度よりも腰部椎間板圧迫力が大きかった理由の一つとして考えられる。

これに加えて、握力が強く発揮される場面では、肩周辺の筋に必要以上の活動がみられる (Antony et al., 2010) ことも腰部椎間板圧迫力増大の原因の一つと考えられる。把手角度 0° の場合は、単にこの重量に負けないだけの指関節の屈曲モーメントを発揮すればよいが、把手角度 90° の場合は、垂直な把手を指または掌で挟まなければならない。したがって、把手が手から滑り落ちないようにするには、把手角度 0° の時よりも大きな指関節の屈曲モーメントを発揮する必要がある。このような大きな握力を発揮しなければならない場合には、肩周辺の筋に不必要な活動を生じさせてしまうため、滑らかな上肢の関節運動が妨げられる可能性がある。これが腰部椎間板圧迫力の増大につながったと考えられる。

しかし、把手角度 45° の時の腰部椎間板圧迫力は、把手の度 0° のときのそれと比べると同程度であった。上記のような理由だけならば、把手角度 45° のときも腰部椎間板圧迫力は段階的に変化するはずである。本研究の結果 (図6) にも観察されたように、一般に、足元から荷物を持ち上げる際には、垂直方向への動きに加えて、水平方向 (手前) にも動きが生じる。把手の角度がどのような向きの力を効率的に箱に伝えるかということ、把手角度 0° の場合には下から真上に向かって働く力、把手角度 90° の場合には水平方向に働く力を箱に伝えるのに有利である。これらに対して、把手角度 45° の場合は、垂直方向と水平方向の中間の方向への力を箱に伝えるのに適した角度であるといえる。荷物を持ち上げる時の動きの方向に近いといえる。したがって、把手角度 45° の時は他の把手角度と比べて、荷物の持ち上げ動作がスムーズに行えたことが考えられる。

以上のように、把手角度の違いによる箱と身体との距離、又は、箱を持ち上げる時に与える力の向きの違いによる腰部椎間板圧迫力への影響よりも、腰椎の屈曲角度や動作の滑らかさの違いが与える影響の方が大きかったことが考えられる。

本研究の結果は、本実験で行ったような単なる荷物を持ち上げる動作に限らず、看護や介護、介助動作等にも応用可能であると考えられる。特に、移乗動作の介助において有用であると推察される。近年、これらの動作の補助具として介助ベルトを被介助者に施すようになってきている。介助ベルトには縦、もしくは横向きに把手が付いているが、真上に持ち上げる動作と手前に引く動作が同時に行われるような移乗介助動作では、把手を斜めに付けることにより、介助者のさらなる負担軽減の可能性が考えられる。看護や介助の環境や状況に応じて、把手角度を自由に選択できるような介助ベルトの開発が、腰痛の発生や悪化を防ぐために手立ての一つとして有効となる可能性がある。

本研究の主要な限界として、把手角度が腰部椎間板圧迫力の最大値に与える影響が統計学的に

は有意水準に満たなかったことが挙げられる。しかし、把手角度90°と45°を比較すると、45°の方が実験参加者5人全てにおいて腰部椎間板圧迫力は減少していた。また、把手角度90°と0°を比較しても、0°の方で実験参加者5人中4人において腰部椎間板圧迫力の減少がみられた。平均値の違いをみても十分に大きな差であった。さらに効果量（エフェクト・サイズ）についても、把手角度90°と45°のときの差は1.32、把手角度90°と0°の時の差は0.73であった。これらは効果量の程度でいえば大（0.8以上）と中（0.5以上）である。したがって、どちらも十分意味のある差であると考えられる。

5. 結論

本研究の目的は、荷物持ち上げ動作時の把手角度が腰部椎間板圧迫力に与える影響を検討することであった。ほぼすべての実験参加者で、把手角度0°（横）と45°（斜め）に比べて、把手角度90°（縦）における荷物持ち上げ動作時の腰部椎間板圧迫力は増大した。この結果から、荷物持ち上げ動作における把手角度の違いが、腰部椎間板圧迫力を変化させる可能性が示唆された。

謝辞

本研究は、早稲田大学人間科学学術院 鈴木秀次教授の指導の下で行われた竹林奈々子さんの卒業研究で収集したデータの一部を用いて行われました。データの使用を快諾してくださり、研究を進めるにあたり御協力くださった鈴木先生および竹林さんに感謝申し上げます。

参考文献

- Antony, N.T., Keir, P.J., 2010. Effects of posture, movement and hand load on shoulder muscle activity *Journal of Electromyography and Kinesiology* 20(2), 191-198.
- BALINGIT Juvy, 岩瀬 弘和, 北岡 正敏. 2004. 荷役作業における人体モデルを用いた作業姿勢に関する研究. *日本経営工学会論文誌*, 55(2), 77-88.

- de Looze, M.P., Boeken-Kruger, M.C., Steenhuizen, S., Baten, C.T.M., Kingma, I., Van Dieën, J.H. 2000. Trunk muscle activation and low back loading in lifting in the absence of load knowledge. *Ergonomics* 43(3), 333-344.
- Frank, J. W., Kerr, M. S., Brooker, A., Demaio, S. E., Maetzel, A., Shannon, H. S., Sullivan, T. J., Norman, R. W. and Wells, R. P. 1996. Disability resulting from occupational low back pain. *Spine*, 21, 2908-2917.
- 藤浦鋭夫. 1976. ポット把手の角度位置によるサイクルグラフの変化. 金沢工業大学学報, 20, 21-24.
- McGill, S.M. & Norman, R.W. 1985. Dynamically and statically determined low back moments during lifting. *Journal of Biomechanics* 18(12), 877-885.
- Winter, D.A. 2005. *Biomechanics and Motor Control of Human Movement*, third edition. Wiley, New York.